

包括的核実験禁止条約とその国際監視制度 に基づく放射性キセノン観測

技術部長 川村 秀久

要 旨

包括的核実験禁止条約の目的の一つである核実験の国際監視制度を実現するため、地球規模で監視観測所が整備され運用が開始されつつある。放射性キセノンは核実験を検知するための優れた指標であるため、監視観測に利用されている。しかし、その発生源は核実験に限らないことから、核実験検知能力の向上のため、核実験以外の発生源に起因するバックグラウンドレベルの確かな評価が求められていた。そのような背景の中、今現在、可搬型観測装置による地域・期間限定の観測を目的とした「放射性キセノンバックグラウンドキャンペーン」が地球規模で展開され、そのレベルと局所的要因等が解明されつつある。本稿では、包括的核実験禁止条約とその国際監視制度に加え、キャンペーンと当協会での計画の概要を紹介する。

1. CTBT について¹⁾

包括的核実験禁止条約 (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty: CTBT) は、①宇宙空間、大気圏内、水中、地下を含むあらゆる空間における核兵器の実験的爆発及び他の核爆発の禁止、②包括的核実験禁止条約機関 (CTBTO) の設立、及び③国際監視制度 (International Monitoring System: IMS) や現地査察等から成る検証制度の確立を目的として、1996 年 9 月に国連総会で採択された。CTBT は全ての核実験を禁止する点で、核軍縮・不拡散上、重要な意義を有する。しかし、CTBT が発効するためには、発効要件国 44 か国全ての批准が必要とされているものの、批准は 36 か国で、未発効となっている。そのため、CTBTO 準備委員会 (Preparatory Commission for CTBTO) が最高意思決定機関としての役割を担い、その下に執行機関として暫定技術事務局 (Provisional Technical Secretariat: PTS) が設置され、検証制度の整備が進められている。

IMS では核爆発の監視のために 4 種類のモニタリング技術 (地震波、大気中の放射性核種、水中音波、微気圧振動) が用いられ (表 1)、地球規模での監視観測所が整備されつつある。その監視観測所は、地震波が 170 か所、放射性核種が 80 か所 (うち、放射性希ガス測定も含む観測所は 40 か所)、水中音波が 11 か所、微気圧振動が 60 か所ある。また、放射性核種監視観測所

で採取した試料の再分析を行う放射性核種実験施設が 16 か所あり、総計 337 か所の設置が計画されている。そのうち、2021 年 10 月 7 日現在で 302 か所 (89.6%) が建設とそれに伴う認証を終え、暫定運用を開始している。観測データは衛星回線経由でオーストリアのウィーンにある国際データセンター (International Data Center: IDC) に自動送信され、解析評価されるとともに、条約署名国に情報提供されるシステムが構築されている。

2. 本邦での CTBT 運用体制について²⁾

本邦での体制を図 1 に示す。外務省 (国内当局) が気象庁と文部科学省との協同の下で、事務局である (公財) 日本国際問題研究所軍縮・科学技術センターと、国内データセンター及び監視観測所の運用者である (一財) 日本気象協会と (国研) 日本原子力研究開発機構

表 1 核実験とモニタリング技術

核実験	モニタリング技術	放射性核種の特徴
大気圏	放射性核種/ 微気圧振動 (地震波/水中音波)	核分裂生成物全てが大気中に放出
水圏	放射性核種/ 水中音波 (地震波/微気圧振動)	放射性希ガスの一部と可能性として放射性粒子が大気中に放出
地圏	放射性核種/ 地震波/微気圧振動 (水中音波)	放射性希ガスの一部が大気中に放出

から構成されている。

地震波観測は、松代、大分、沖縄、八丈島、上川朝日、父島の6か所で、微気圧振動はいすみの1か所で、放射性核種は高崎(粒子/希ガス)と沖縄(粒子のみ)の2か所で運用が開始されている(いずれも2004年から2014年にかけて認証)。また、放射性核種実験施設は東海の1か所が認証を受けている(図2)。

3. 放射性キセノンについて

原子番号54のキセノン(Xe)は、希ガス元素(He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn)の一つである。化学的に極めて不活性で、元素相互または他元素と化合物を形成し難い性質がある。常温常圧では無色無臭の気体で、大気中にはおおよそ 87×10^{-9} (体積比)存在している。

キセノンのうち、放射性キセノン(Xe-131m, Xe-133m, Xe-133, Xe-135)は、次のような理由で核実験を検知するための優れた指標になる(表2)。

- (1) 希ガスは化学的に不活性で気体状であるために、大気中で降雨によってウォッシュアウトされ難い。また地下核実験の際、粒子状放射性物質よりも地表面から揮散し易い。
- (2) 核実験で放出される希ガスの中でも、放射性キセノンは核分裂収率が高い。また、半減期が大気拡散評価に適している一方で、比較的短いために大気中での残留性が低い(大気中でのバックグラウンドレベルが低い)。

その為、放射性キセノンは半数の放射性核種監視観測所での監視対象核種になっている。

4. 放射性キセノンの観測方法^{3), 4)}

放射性キセノンの測定には、SAUNA(スウェーデン、Scienta Sensor Systems AB社製)やSPALAX(フランス、ENVA社製)等が広く利用されている。そのうち、SPALAX-DRは、コンテナ(4.5×2.4×2.3m)に全ての機器が収納された可搬型の観測装置で、後述のキャンペーンで利用されている。SPALAX-DRでは、大気試料をポンプで回収した後、メンブレンや活性炭等を用い

てキセノンを分離・濃縮する。放射性キセノンはゲルマニウム半導体検出器で、またキセノンは熱伝導度検出器(TCD)で定量する。測定済試料はアーカイブ容器に保管できるようになっている。観測データは取得の都度、IDCに転送されて評価を受ける(図3)。

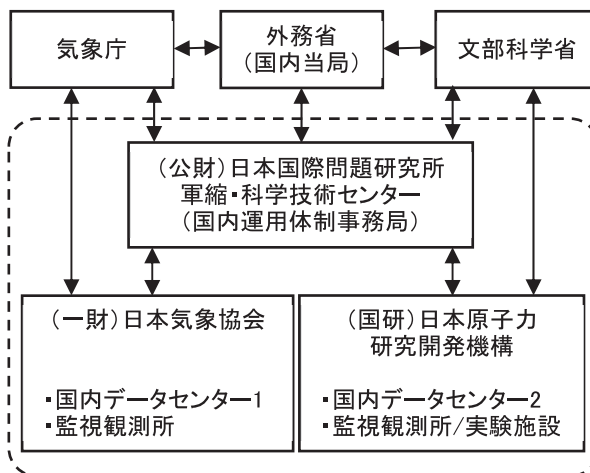


図1 本邦でのCTBT運用体制

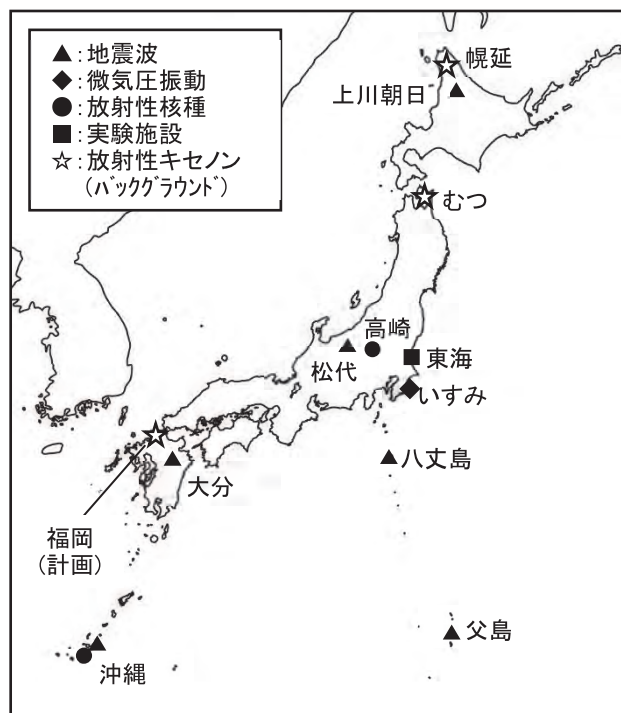


図2 本邦での監視観測所

表2 監視対象の放射性キセノン

核種	半減期	壊変形式	生成
Xe-131m	11.8日	核異性体転移	核分裂
Xe-133m	2.19日	〃	〃
Xe-133	5.24日	β 壊変	〃
Xe-135	9.14時間	〃	〃

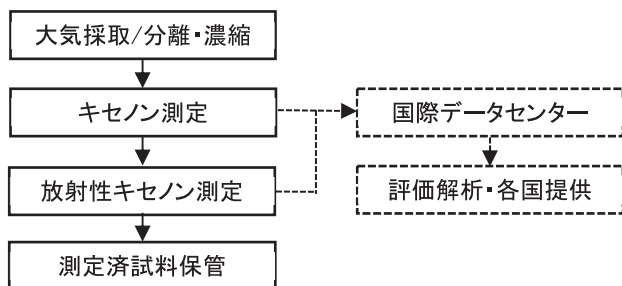


図3 放射性キセノンの観測フロー

5. 放射性キセノンの発生源とその観測の課題

放射性キセノンは核実験（核爆発）で大気中に放出されるだけでなく、原子力発電所、使用済核燃料再処理施設、研究用原子炉、医療用放射性同位体製造施設、病院等の核医学施設など、原子力の平和利用に伴っても放出される。特に、核分裂生成物の化学分離を伴う医療用放射性同位体製造施設から、放射性キセノンは多量に漏れ出て周辺のバックグラウンドレベルを上げていとされている。バックグラウンドレベルが上昇するとCTBT 対象事象である核実験の検知が困難になるおそれがあるため、その確かな評価が課題となっていた。

6. バックグラウンドキャンペーンについて

核実験検知能力の向上のため、可搬型観測装置による地域・期間限定の観測プロジェクトである「放射性キセノンバックグラウンドキャンペーン（Radioxenon background campaign）」が地球規模で展開されている。バックグラウンドレベルとなる平時の放射性キセノンの大気中濃度データを一定期間中に連続取得することにより、その局所的要因の特定だけでなく、IMS ネットワークへの影響評価等が検討されつつある。

このキャンペーンは、海外では、2008年以降、ベルギー、クウェート、南アフリカ、タイ、ドイツ等で実施されている。また、本邦では、青森県むつ市で2回（2012年及び2014年）実施され、2018年からむつ市と北海道幌延町の2か所で実施中である¹⁾。

本邦では3か所目の地点として、当協会での観測を目指してSPALAX-DRを海外から博多港に輸送するなど着々と準備を進めている。今現在（2021年11月7日）、

昨年からの新型コロナウイルス蔓延のために、SPALAX-DRの設置と観測はペンディングの状況になっているものの、再開されれば確実な観測を実施し、放射性キセノンの環境挙動の解明を通じて、包括的核実験禁止条約に微力ながらも貢献したいと考えている。

7. 最後に～九環協設立50周年を迎えて～

50周年を迎えた今、技術革新に加え、気候変動と少子高齢化は世の趨勢となっており、特に少子高齢化は不可逆的な印象が強くなります。今後、変化に靱やかに適応するためのアジャイル型の組織運営や、年齢を問わず個々のリスクリングも求められるはずで、それらに対応するには、和（怒）を礎とし、自分で考え、自分で判断し、自分で行動できる自律した個人の育成と、失敗や変化を恐れずに前へ挑戦し続ける姿勢が大事と思っています。そのためには、行動憲章に掲げた「自律と挑戦を重んじる風土」が醸成されることが不可欠で、九環協の将来はそれに大きく依拠していると考えています。

謝辞：本技術紹介に際して、ご教示いただいた前CTBTO 放射性核種専門官の井上尚子氏（現・日本原子力研究開発機構）に深謝いたします。

参考文献

- 1) CTBTO 準備委員会ホームページ
<https://www.ctbto.org/>
- 2) 外務省ホームページ
<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kaku/ctbt/index.html>
- 3) 米沢仲四郎，山本洋一：核実験監視用放射性核種観測網による大気中の人工放射性核種の測定、ぶんせき，8月号，451-458（2011）。
- 4) 山本洋一：原子力機構高崎放射性核種観測所における希ガス観測—CTBTOによる認証—，Isotope News，8月号，31-33（2015）。